

University of Groningen

## Modelling the hydrodynamics of swimming fish, from individuals to infinite schools

Reid, Daniel Alexander Peter

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2011

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Reid, D. A. P. (2011). *Modelling the hydrodynamics of swimming fish, from individuals to infinite schools*. s.n.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

---

## SAMENVATTING

---

Dit proefschrift richt zich op het bestuderen van de hydrodynamica van vissen die zwemmen door hun lichaam gestaag te golven. Hiertoe wenden wij een computer model (de zogeheten Multiparticle Collision Dynamics methode) en een meta-analyse van gepubliceerde data over de kinematica van zwemmende vissen aan.

In het computermodel worden het water en zijn dynamica gesimuleerd door middel van miljoenen deeltjes, die rondbewegen en met elkaar botsen. Uit dit gedrag op de microschaal ontstaat op de macroschaal gedrag dat hydrodynamisch klopt. Door niet-bewegende vormen te bestuderen in een kanaal waardoorheen water vloeit ontdekken we dat het toevoegen van lange, staartachtige platen aan de stroomafwaartse zijde van een cylinder de waterweerstand verhoogt bij lage Reynoldsgetallen, maar verlaagt bij hogere Reynoldsgetallen. Dit suggereert dat het alleen voor relatief grote organismen nuttig is om een staart te hebben. Hiernaast bestuderen we de hydrodynamica van vormen die kunnen veranderen van positie, hoek en vorm, namelijk een slaande insectenvleugel (ter validatie van de methode) en een golvende vis. De resultaten komen in beide gevallen overeen met data uit experimenten. We tonen aan dat de veelgebruikte techniek om in simulaties van het zwemmen van vissen ze te beperken zodat ze niet kunnen accelereren de resultaten kan beïnvloeden. We vinden geen effect van het beperken van acceleratie in de lengterichting. Wanneer echter de acceleratie in de zijdelingse richting voorkomen wordt dan neemt de zwemsnelheid toe, en worden de kracht- en stroompatronen versterkt, zodat zij lijken op die van een vrij-zwemmende vis met een hogere staartslagfrequentie. Ons derde onderzoek betreft oneindig grote scholen van vissen, in verscheidene ruimtelijke configuraties in het computermodel. We bestuderen de configuratie met een ruitvormig rooster die in theorie optimaal is, en een rechthoekige roosterstructuur. Verder simuleren we een oneindig lange stoet (de 'rij') en een oneindig brede 'falanx' om zo de effecten van het hebben van burens in de lengte- dan wel breedterichting te scheiden.

Onze resultaten zijn in enkele opzichten naar verwachting: we bevestigen theoretische voorspellingen dat het hebben van zijdelingse burens de efficiëntie positief beïnvloedt, en dat in een dicht opeengepakte ruitstructuur de individuen een gebied met lage stroomsnelheid voor zich vinden. Onverwacht is echter dat deze dichte ruitstructuur in ons model niet optimaal efficiënt is. Interessant genoeg tonen wij ook aan dat in de meeste gevallen het voordelig is qua zwemsnelheid en efficiëntie om direct in het onverstoorde kielzog van een voorganger te zwemmen.

We breiden de inzichten die wij uit onze simulatieonderzoeken hebben opgedaan verder uit door middel van een meta-analyse van de wetenschappelijke literatuur over gestaag zwemmende echte vissen. De grootte van de dataverzameling leidt tot enkele significante bevindingen die ongeacht de vissoort geldig zijn. Met name belangrijk is dat we aantonen dat de achterwaartse snelheid  $V$  van de voortstuwende lichaamsgolf verreweg de belangrijkste factor is voor het bepalen van de uiteindelijke zwemsnelheid  $U$ . Hiernaast ontdekken we

## Samenvatting

onder andere nog dat de zogeheten 'slip ratio' ( $U/V$ ) afhangt van het Reynoldsgetal, wat ook in ons computermodel het geval is.

Samenvattend leidt dit proefschrift tot een beter begrip van de hydrodynamica van gestaag zwemmen door het golven van het lichaam, zowel van enkele zwemmers als van groepen.